

架線レス LRV の開発

小笠 正道

車両制御技術研究部
(駆動制御 研究室長)

田口 義晃

同
(同 研究員)

前橋 栄一

鉄道力学研究部
(車両力学 主任研究員)



おがさ まさみち



たぐち よしあき



まえばし えいいち

はじめに

架線と車載エネルギー蓄積装置によるハイブリッド電源型車両(電力リサイクル車両)技術は、電化区間での回生失効を防止してエネルギー回収再利用することによる省エネ化や、架線レス走行技術による電化/非電化区間の相互直通運転の実現を可能とする技術です。

2003年8月にリチウムイオン二次電池を搭載した、中古路面電車改造によるエネルギー回生型架線レスバッテリー tram 試験車両を公開、2005年2月には、架線ハイブリッド電車として再公開を行いました。また、2005年6月からはNEDO技術開発機構からの委託契約に基づき、「エネルギー回生利用バッテリー駆動型省エネ LRV 車両(2005~2007年度)」の研究開発を推進してきました。

本年度 LRV 新車が落成、所内走行試験による確認、手直しを行ない、2007年10月に公開しました(図1)。架線ハイブリッド(架線レス) LRV “ハイ! tram” の車両概要と所内走行結果を踏まえた性能について報告します。

なぜ回生蓄電 tram が (都市交通を取巻く環境の変化)

1) 環境関連の法制制定(省エネ・景観)

改正省エネ法の2006年4月施行では、貨物輸送事業者



図1 ハイ! tram (Hybrid Interoperable-tram)

に対しモーダルシフトを含む各種対策の実施、エネルギー消費原単位削減に向けた省エネ計画策定が事実上義務付けられました。エネルギー消費量削減や、ゼロエミッション、ローエミッション化が求められています。運輸事業にとり、様々なレベルでの省エネ化技術の開発は喫緊かつ重要な課題です。

また、2005年6月には景観法が全面施行され、観光地区での景観配慮が重要となりました。電線が地中化された国内のある実在都市の中心部では、軌道線の架線だけが数 km 残った箇所があります。いずれ対策が必要となるでしょう。

2) LRT 補助制度の進展

世界的な LRT 導入気運と相俟って、国内でも都市内の路面公共交通として LRT が見直されてきました。

法制面でも助成制度の大幅な進展があり、1997年の路面電車走行空間改築事業(路線を対象)、2000年の公共交通移動円滑化施設整備費補助(いわゆる「交通バリアフリー法」: 車両を対象)、2005年の LRT システム整備費補助(いわゆる LRT 総合整備事業: 運営施設を対象)などがその例です。特に最後の2005年の補助法制によって2006年4月に国内初の LRT と呼べる富山ライトレールが開業しました。

2007年10月には地域公共交通の活性化及び再生に関する法律(いわゆる地域公共交通活性化法)が施行され、LRT 導入や地方鉄道線の存続支援、公設民営による上下分離方式が鉄道線だけでなく軌道線にも適用されることになりました。

LRT 自体が注目を集め、今後の拡がり期待されています。

3) 都市間交通と都市内交通の連携

少子高齢化社会の進展とともに、無秩序なスプロールをやめて中心市街地に再び人を集約的に住まわせることで、公共インフラのコストをトータルとして低減する「コンパ

表1 主要諸元

○車両 (Hi-tram)	
形式	LH02
期間	1,067 mm
定員	44人 (座席定員20人)
空車質量	24.0 t
車体寸法	長12,900 mm×幅2,230 mm×高3,800 mm (パンタ折畳み高さ) 超低床部高さ350 mm (軌道面上)
台車形式	FS601型 (コイルばねインダイレクトマウントボルスタ台車)
ブレーキ方式	回生蓄電併用型電気指令式空気ブレーキ方式
駆動方式	平行カルダン中実軸撓み板継手 (TD継手) 式
主電動機	3相かご型誘導主電動機60kW×4台
主電動機制御変換器	電圧型3相ブリッジ2レベルPWMインバータ (150kVA×2台) (速度センサレスベクトル制御)
電源方式	架空電車線直流: 1500V, 600V 主バッテリー: 直流600V
主バッテリー	600V-120Ah (72kWh) マンガン系リチウムイオン二次電池
架線主バッテリーハイブリッド変換器	電圧型3相ブリッジ2レベルPWMコンバータ (600kVA×2台) (電流可逆昇降圧チョップパ制御)
最高速度	40 km/h (軌道線), 70 km/h (鉄道線)
加加速度	40 km/h/s (ハイブリッドモード), 25 km/h/s (バッテリーモード)
減速度	4.4 km/h/s (常用最大・保安), 5.0 km/h/s (非常)
歯車比	72/11=6.545
車輪径	660mm (計算630mm)

クトシティ」が指向されています。中核都市(県庁所在地やそれに準ずる都市)を中心に街づくりの見直しがなされ、随所でパークアンドライド構想や中心市街地での軌道系交通機関の新規導入または復活が検討されています。

公共交通としての鉄道・軌道施策は、JR各社にとって、今までは大都市圏輸送や都市間高速輸送を主とした取組みが中心でしたが、コンパクトシティ実現に伴う公共輸送の整備、地方ローカル線および、新幹線新規導入時の並行在来線への対応といった様々な課題に対応するため、都市内輸送も真剣に考慮すべき時期にきています。

今後は、在来鉄道と都市内線の連携、相互直通乗入れ、そのためのトラムトレイン車両といった開発ニーズへの対応も重要となってくるでしょう。

架線レス(架線ハイブリッド)LRVの効用

1) 架線区間(架線ハイブリッド走行)

- ・ 回生失効防止と蓄電再利用による省エネルギー化
- ・ 変電所ピークパワーのカットによる設備負担の軽減
- ・ 蓄電パワーによる加速アシストを行うことでの時分短縮
- ・ 常用ブレーキの全回生ブレーキ化

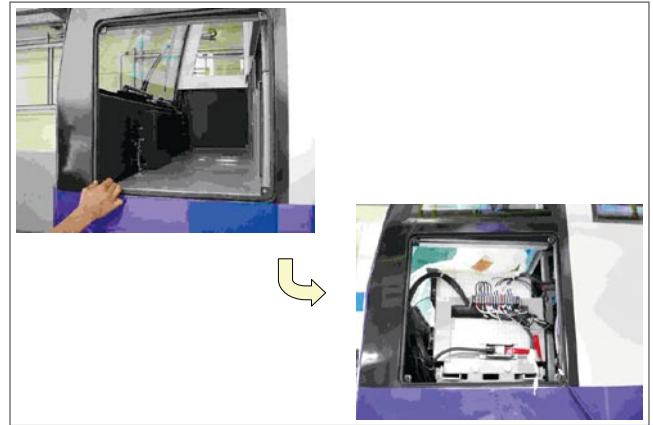


図2 スラント部へのバッテリー搭載(引出構造)

- ・ 異種電源や非電化区間への直通運用による乗換え低減
- ・ 架線停電時の自力移動による旅客封じ込め防止
- ・ 電気エネルギーで一元化され、液体や気体を扱わないので保守が容易
- ・ 架線区間での蓄電残量調整が容易

2) 架線レス区間(バッテリー走行)

- ・ エンジンではなく、電気駆動による街中の低公害、低騒音走行(パンタ摺動音もなくなる)
- ・ 自転車回生による省エネ化、一充電走行距離の延伸
- ・ 帰線高調波問題の抜本根絶
- ・ 架線を設置しないことでの路線建設費の一部低減
- ・ 上下寸法狭小区間への路線敷設が可能
- ・ 車高の高い大型自動車の通行阻害の防止(特に交差点)
- ・ 都市景観の向上
- ・ 地域行事阻害の防止(神輿出動時など)

架線レスLRV「Hi-tram」の概要

架線と車載バッテリーのハイブリッド(Hybrid)走行による、架線区間と無架線区間、軌道線と鉄道線といった相互直通運用(Interoperability)を行なうトラムの頭文字を取り、また高い加減速度による元気な走行を期して、「Hi-tram(ハイ!トラム)」と愛称命名しました。

車両主要諸元を表1に示します。

1) 車体

運転室のみ高床の部分超低床車体です。車端スラント部に主バッテリーを格納する構造としました(図2)。

2) 台車

軌道回路線区での走行を考慮して、車軸の通った通常ボギー台車としました。軌道線での最小曲線半径14mに対応し、全軸を動軸とすることで鉄道線での速度70km/h走行に対応しています。走行試験時には第1軸(パンタ側)を輪重横圧測定軸としました。

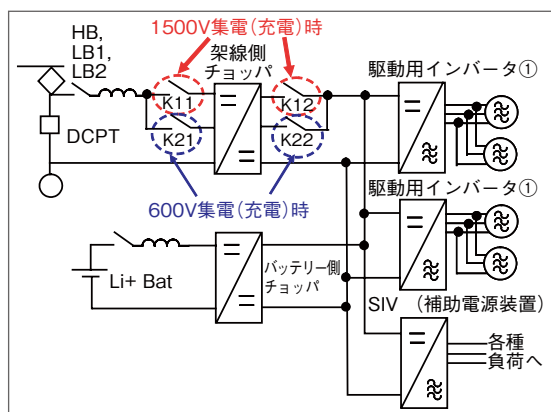


図3 複電圧架線・バッテリーハイブリッド主回路構成



図5 超低床の車内と運転室への残バッテリー配置

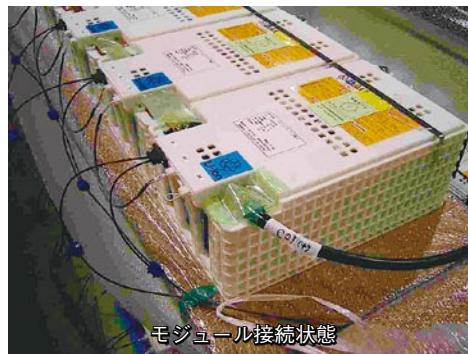


図4 リチウムイオン二次電池30Ahモジュール

3) 主回路

各種電源(直流1500V, 600V架線, 600Vバッテリー)に対応できる電源ハイブリッド構成で, 無電圧架線への逆加圧を防ぐコンバータ・インバータシステムとしました(図3)。コンバータは架線側チョッパとバッテリー側チョッパから成り, 直流中間回路を介して負荷側にインバータ2台とSIV補助電源装置を配置しました。架線側チョッパは, 架線電圧1500V時に降圧動作を, 600V時には昇圧動作を行って中間回路電圧を750Vに制御しています。

4) 主バッテリー

リチウムイオンバッテリー30Ahセルの8セル直列モジュール(図4)を, 21直列, 4並列に構成しました。全体

で電圧600V, 容量120Ah(75kWh)となります。モジュールごとの強制風冷で急速充電時にもバッテリー温度上昇を抑制し, 寿命への影響を小さくしています。

主バッテリーは車端スラント部から優先配置し, 残りを運転室乗務員席後部と床部に分散配置(図5)しています。

5) エネルギー表示画面(モニタ演算装置), GPSマルチ画面

エネルギー表示画面には, バッテリー電圧, 残量, 温度, ハイブリッド動作時のエネルギーの流れ, 速度などの情報が表示されます。現在の残量ならどこまでバッテリーで走行可能かといった情報や, 停留所での充電必要時間も表示します(図6)。

GPSマルチ画面は, GPS地図情報, 屋根上や車内の



図6 エネルギー表示画面



図7 GPSマルチ画面



図8 剛体架線からの急速充電
(バッテリー充電電流1000A-60秒以上)

CCD映像、TV映像を表示することができます。パンタグラフの昇降確認用にも使用されます(図7)。

7) 充放電制御

力行・回生時には、架線電圧が所定値に達した段階でバッテリーとのパワー授受が開始されます。架線電流リミッタの設定で、架線と授受する電流をある値以下に抑制できます。

通常架線下では、バッテリー電圧が設定範囲を超えると、50~100A程度の緩慢充電により残量が自動調整されます。

また、長さ数mの剛体架線が設備された充電停留所では、バッテリー充電電流500Aや1000Aといった大電流での停車中急速充電が可能です。2~3kmおきの充電停留所で1分程充電することで、架線レス走行を継続できます。

架線区間でバッテリーフル充電に近い状態にして架線レス区間に進入し、また架線レス区間走行後に架線区間でパンタグラフを介してバッテリーを走行中に充電できます。景観重視区域や交差点など市街中心部は架線レス走行で、専用軌道では架線ハイブリッド走行による省エネ運行が可能です。

所内走行試験による性能概要

2007年9月18日に鉄道総研へ搬入後、機能確認と不具合調整を行ない、基礎的データを取得しました。

1) バッテリー電力のみでの連続走行試験

速度40km/hまでの約250mごとの発進停止による繰返し試験を実施しました。バッテリー端子電圧680Vから525Vまでの走行では、時間で7,480秒(2時間4分40秒)、バッテリー容量の56.5%を使用して、走行距離32.8km、平均回生率48%以上の結果が得られました。なお、回生率は、



図9 すすきの電停に進入する「ハイ!トラム」

バッテリー端子からの放電電力量(補機分も含む)に対する充電電力量の割合(返って来た割合)として計算しています。

2) 剛体架線からの急速充電試験(直流1,500V架線)

剛体架線からパンタグラフを介し、バッテリー電流1,000Aで60秒以上の急速充電を行ないました(図8)。

急速充電終了後の温度上昇は最大で3℃に抑制でき、パンタ点での充電電力量42.8MJ、バッテリー端子での充電電力量35.6MJから、急速充電時のエネルギー変換効率83.2%の結果が得られました。また、バッテリー充電電流500A-3分以上の充電でも、急速充電時のエネルギー変換効率86.6%となりました。

軌道事業者線における走行

2007年11月5日に札幌市交通局へ搬入後、構内走行試験、深夜本線走行確認を経て、11月22日から営業時間帯の試験走行を実施中です(図9)。消費電力量や寒冷地におけるバッテリー挙動・性能などの各種データを取得中です。走行試験は、2008年3月まで実施する予定です。

おわりに

街づくりに合せた今後の都市内交通と都市間交通に貢献できる技術として、蓄電、架線レス、相互直通、トラムトレインといったキーワードが重要になってくるでしょう。

紙面には書き切れませんが、上記の研究開発、設計製作、試験走行には相当数の研究者、メーカー担当者、作業員、軌道事業者の方々に関与して頂きました。この場を借りて謝意を表します。

本研究開発は、経済産業省からの交付金を原資として実施する「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の一つとして、NEDO技術開発機構の委託契約に基づき実施しています。RRR